

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年12月31日 (31.12.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/001500 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02F 2/02, 1/35
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/007831
(22) 国際出願日: 2003年6月19日 (19.06.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2002-183890 2002年6月25日 (25.06.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電
器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUS-
TRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市
大字門真 1006番地 Osaka (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 古屋 博之 (FU-
RUYA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒631-0804 奈良県 奈良市

神功 1-6-24-403 Nara (JP). 榎原 晃 (ENOKI-
HARA, Akira) [JP/JP]; 〒631-0823 奈良県 奈良市 西大
寺国見町 1-4-3-506 Nara (JP).

(74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA, Seiji); 〒540-0038 大阪
府 大阪市 中央区 内波路町一丁目3番6号 片岡ビル
2階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).

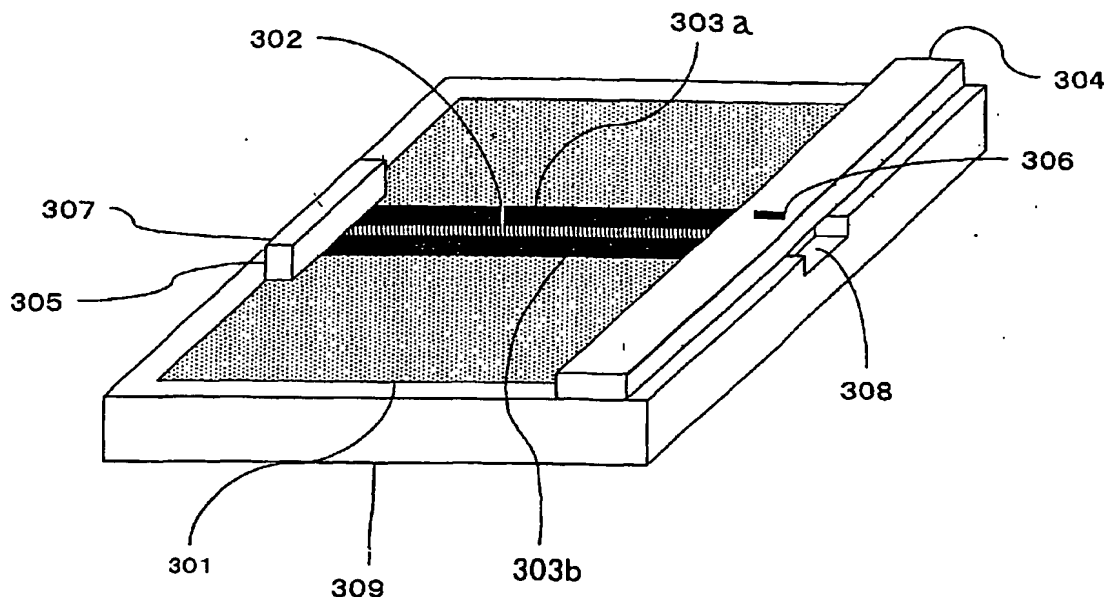
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL SIGNAL-ELECTRIC SIGNAL CONVERTER

(54) 発明の名称: 光信号-電気信号変換装置



(57) Abstract: An optical signal-electric signal converter comprising an optical waveguide on which a signal propagates, a pair of electrodes disposed on the opposite sides of the optical waveguide in a region subject to an electric field being generated in the optical waveguide when an optical signal propagates thereon, and a resonator coupled with the pair of electrodes and being excited by receiving an electric signal induced in the pair of electrodes by that electric field.

[続葉有]



(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 本発明の光信号-電気信号変換装置は、信号を伝搬する光導波路と、前記光信号が前記光導波路を伝搬するときに前記光導波路に発生する電界が及ぶ領域において前記光導波路を挟んで対向する位置に設けられた一対の電極と、前記一対の電極に結合された共振器であって、前記電界によって前記一対の電極に誘起された電気信号を受け取って励起される共振器とを備えている。

明 細 書

光 信 号 — 電 気 信 号 変 換 装 置

技 術 分 野

- 5 本発明は、非線形光学効果を用いた光信号—電気信号変換装置に関する。

背 景 技 術

従来、光 信号を電気信号に変換する装置としては、フォトマル
10 チプライヤーに代表される電子管、またはフォトダイオードに代表
される半導体受光素子が広く用いられてきた。電子管は、「外部光
電効果」を利用して光信号を検出する素子であり、半導体受光素子
は、半導体内での「内部光電効果」を利用して光信号を検出する。

電子管は検出感度（信号増幅率）が高く、理化学用としては現在
15 も頻繁に用いられているが、大型であり、動作に高圧電源が必要と
なる。このため、光通信用の受光素子として用途にはほとんど用い
られていない。

これに対して半導体受光素子は、小型で消費電力も小さいため、
光通信を含め広い分野で用いられている。半導体受光素子の中でも、
20 p i n型フォトダイオード（p i n－P D）は、安価であるため、
多様な用途に用いられているが、高速光通信には高速での応答が可
能なアバランシェフォトダイオード（A P D）が用いられている。
近年では、応答速度を改善したp i n型フォトダイオードも開発さ

れており、これらの半導体受光素子は、現状の通信速度（帯域＜60GHz帯）では略支障なく使用できる状況にある。

しかし、通信速度が100GHzを超える超高周波帯域においては、半導体受光素子は十分に応答することができないという問題がある。これは、半導体受光素子の応答速度が、光信号の入射によって発生するキャリアの移動度によって制限されるためである。

pinフォトダイオードの場合、光がフォトダイオードの光吸収層に入射すると、電子及びホールのペアが生成される。ホール移動度は電子移動度よりも小さい。フォトダイオードの応答速度を決定する遅延時間はホールのドリフト速度によって規定される。このように、半導体受光素子の応答速度は、半導体材料に固有のキャリア移動度、印加電圧、ドリフト距離などによって決まるが、これらのパラメータを更に大きくしても、100GHzを超える速度で変調された光信号を正確に検知できる応答速度に向上させることは困難であると考えられる。

本願発明は、上記問題を解決するためになされたものであり、その主たる目的は、高速で変調された光信号を電気信号に変換できる光信号－電気信号変換装置を提供することにある。

発明の開示

本発明の光信号－電気信号変換装置は、変調された光信号を受け取り、伝搬する光導波路と、前記光信号が前記光導波路を伝搬するときに、非線形光学効果によって前記光導波路に発生する電界が及

ぶ領域において前記光導波路を挟んで対向する位置に設けられた一対の電極とを備えている。

好ましい実施形態において、前記一対の電極に結合された共振器であって、前記電界によって前記一対の電極に誘起された電気信号を受け取って励起される共振器を更に備えている。

好ましい実施形態において、前記光信号は、変調周波数 f_m に応じたサイドバンド信号を含んでいる。

好ましい実施形態において、前記光導波路は、誘電体基板上、または前記誘電体基板中に形成されており、前記電極は前記誘電体基板に支持されている。

好ましい実施形態において、前記光導波路および前記誘電体基板の少なくとも一部は、非線形光学材料から形成されており、前記光信号が前記光導波路を伝搬するとき、光整流効果によって前記電界を発生させる。

好ましい実施形態において、前記共振器に連結された電磁波放射器を更に備えており、前記電気信号を無線信号として放射する。

好ましい実施形態において、前記共振器および前記電磁波放射器が前記基板と一体化されている。

好ましい実施形態において、前記共振器と前記電極とは、前記誘電体基板に形成されたマイクロストリップ線路によって設けられている。

好ましい実施形態において、前記光信号は、変調周波数は 10 GHz 以上である。

好ましい実施形態において、前記光導波路に結合した光入射部を更に備えている。

5 好ましい実施形態において、前記非線形光学材料は、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) 系材料、リン酸チタニルカリウム (KTiOPO_4) 系材料、希土類カルシウムオキシボレート ($\text{RECa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ RE: 希土類元素) 系材料、DAST (4-ジメチルアミノ-N-メチル-4-スチルバゾリウムートシレート)、および、3RDCVXY (ジシアノビニル終端-ジメチル置換-ジアゾ) からなる群から選択された材料である。

10 好ましい実施形態において、前記光導波路は、分極方向が他の部分の分極方向と異なる周期的分極反転構造を有している。

好ましい実施形態において、前記一对の電極を電氣的に接続する抵抗を更に備えている。

15 好ましい実施形態において、前記誘電体基板を収納する筐体を更に備えている。

図面の簡単な説明

20 図1は、本発明による光信号-電気信号変換装置の実施形態を示す斜視図である。

図2は、本発明による光信号-電気信号変換装置の他の実施形態を示す斜視図である。

図3は、本発明による光信号－電波信号変換装置の更に他の斜視図である。

図4（a）は、図3の光信号－電気信号変換装置から共振器を取り除いた状態の主要部を示す斜視図であり、（b）は、そのA－A'線断面図であり、（c）はB－B'線断面図である。

図5（a）は、図3の光信号－電気信号変換装置における誘電体共振器アンテナの斜視図であり、（b）は、そのA－A'線断面図である。

図6は、図3の装置における電極と誘電体共振器との接続を示す斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明では、光照射によって励起されるキャリアのドリフトを利用せずに、非線形光学効果を利用することにより、光信号を電気信号に変換する。このため、多数キャリアのドリフト速度によって応答速度が制限されることがない。

以下においては、まず、本発明による光信号－電気信号変換装置の動作原理を説明する。

非線形光学効果を有する材料の分極は、以下の式1で示される。

$$D = \epsilon E + P_{NL} \quad \cdots (式1)$$

ここで、Dは電気変位ベクトル（電束密度）、 ϵ は誘電率、Eは電界、 P_{NL} は非線形分極を示している。

非線形光学材料中の電気変位ベクトル D は、式 1 に示すように、通常の誘電率 ϵ 及び電界 E の積と非線形分極 P_{NL} との和である。非線形分極 P_{NL} の項は、2 次の非線形光学効果のみを考慮に入れると、以下の式 2 で表される。

$$5 \quad P_{NL} = \chi^{(2)} E \cdot E \quad \dots \text{(式 2)}$$

ここで、 $\chi^{(2)}$ は 2 次の非線形分極率である。

非線形光学材料に入射する光は、以下の式 3 に示す 2 つの電界 E_1 、 E_2 の和によって表されるものとする。

$$10 \quad \begin{aligned} E_1 &= E_{01} \cos(\omega_1 t - \kappa_1 r + \phi_1), \\ E_2 &= E_{02} \cos(\omega_2 t - \kappa_2 r + \phi_2) \quad \dots \text{(式 3)} \end{aligned}$$

ここで、 ω_1 および ω_2 は光の周波数、 t は時間を、 κ_1 および κ_2 は光の波数、 ϕ_1 および ϕ_2 は位相である。

式 3 を用いると、式 2 における電界 E の 2 乗は、以下のように表される。

$$15 \quad \begin{aligned} E \cdot E &= (E_1 + E_2) \cdot (E_1 + E_2) \\ &= E_{01}^2 \cos^2(\omega_1 t - \kappa_1 r + \phi_1) \\ &\quad + 2 E_{01} E_{02} \cos(\omega_1 t - \kappa_1 r + \phi_1) \cdot \cos(\omega_2 t - \kappa_2 r + \phi_2) \\ &\quad + E_{02}^2 \cos^2(\omega_2 t - \kappa_2 r + \phi_2) \quad \dots \text{(式 4)} \end{aligned}$$

20 $\cos 2\theta = 2 \cos^2 \theta - 1$ の関係を用いると、式 4 は、以下の式 5 の項 A + 項 B + 項 C + 項 D + 項 E で表される。

$$\begin{aligned} E \cdot E &= 1/2(E_{01}^2 + E_{02}^2) \dots \text{(項 A)} \\ &\quad + 1/2 E_{01}^2 \cos(2\omega_1 t - 2\kappa_1 r + 2\phi_1) \dots \text{(項 B)} \end{aligned}$$

$$+1/2E_{02}^2 \cos(2\omega_2 t - 2\kappa_2 r + 2\phi_2) \cdots (\text{項C})$$

$$+E_{01} \cdot E_{02} \cos[(\omega_1 + \omega_2) t - (\kappa_1 + \kappa_2) r + (\phi_1 + \phi_2)] \cdots (\text{項D})$$

$$+E_{01} \cdot E_{02} \cos[(\omega_1 - \omega_2) t - (\kappa_1 - \kappa_2) r + (\phi_1 - \phi_2)] \cdots (\text{項E})$$

・・・式(5)

5

式5の項Aは光整流の項を示している。また、式5の項Bおよび項Cは第2高調波発生、項Dは和周波発生、項Eは差周波発生を表している。

10

本発明では、式5に示される非線形光学効果のうち、項Eによる効果を利用して、光信号を電気信号に変換する。以下、この点をより詳細に説明する。

15

光変調素子によって例えば中心周波数が26GHz帯の信号で変調された光(中心周波数1.5μm)には、0.19nm離れた位置にサイドバンドと呼ばれるピークが発生する。一般に、変調信号の周波数を f_m Hzとすると、サイドバンドが発生する波長 λ_{sb} は、以下の式6にて表される。

$$\lambda_{sb} = \lambda_c + \Delta\lambda$$

$$\Delta\lambda = \lambda_c - \frac{C\lambda_c}{C + f_m\pi} = \frac{f_m\lambda_c^2}{C + f_m\lambda_c} \cdots (\text{式6})$$

C:光速

λ_c :光中心波長

f_m :変調信号の周波数

20

本発明の光信号－電気信号変換装置では、このサイドバンドの波長 λ_{sb} と光の中心波長 λ_c との差周波発生(式7)により、変調信号への変換を実行する。

$$\omega_m = \omega_{sb} - \omega_c$$

つまり

$$\frac{1}{\lambda_m} = \frac{1}{\lambda_{sb}} - \frac{1}{\lambda_c} = \frac{f_m}{C} \quad \dots (式7)$$

ω_m : 変調信号の角周波数

ω_{sb} : サイドバンドの角周波数

ω_c : 中心波長の角周波数

λ_m : 変調信号の波長

λ_{sb} : サイドバンドの波長

λ_c : 中心波長

ここでは、便宜上、非線形光学材料中に2つの異なる周波数（波長）の光が入射した場合を考えているが、1つの周波数（波長）の光が入射した場合も、同様である。

5 以下、本発明による光信号－電気信号変換装置の好ましい実施形態を説明する。

（第1実施形態）

まず、図1面を参照しながら、本実施形態の光信号－電気信号変換装置の構成を説明する。

10 本実施形態の光信号－電気信号変換装置は、非線形光学材料から形成された誘電体基板101と、基板101の上面に形成された光導波路102と、基板101の上面において光導波路101を挟んで対向する位置に設けられた一対の電極103、104とを有している。

15 検出すべき光信号は、光導波路102の入射部102aに入射し、光導波路102を図中左側から右側へ伝搬する。このとき、非

線形光学効果のうちの差周波発生効果によって電界が発生する。一対の電極 103、104 は、光導波路 102 に発生する電界が及ぶ領域内に設けられている。

本実施形態の構成によれば、光信号が光導波路 102 を図中の左から右へ伝搬するときが発生する電界の変化を、電極 103 及び 104 を介して検出することができる。この電界は、前述したように、非線形光学効果の差周波生成によって光導波路及びその近傍に形成される。このような差周波発生によって光信号を電気信号に変化するためには、入力する光信号がサイドバンド信号を有するように変調された信号である必要がある。

本実施形態では、誘電体基板 101 として、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 基板を好適に用いることができる。基板 101 の材料は、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) に限られず、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、リン酸チタニルカリウム (KTiOPO_4)、希土類カルシウムオキシボレート ($\text{RECa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ RE: 希土類元素)、DAST (4-ジメチルアミノ-N-メチル-4-スチルバゾリウム-トシレート)、3RDCVXY (ジシアノビニル終端-ジメチル置換-ジアソ) などであってもよい。

次に、図 1 に示す光信号-電気信号変換装置の製造方法を説明する。

まず、基板 101 に対して、純水、アセトン、アルコール等の液中で超音波洗浄を施す。その後、酢酸中での超音波洗浄を 1 分以内

の時間行う。再び、基板 101 に対して純水、アセトン、アルコール等の液中で超音波洗浄を施す。

次に、基板 101 の上面にフォトリソグラフィ法により、光導波路 102 の位置と形状を規定するレジストマスクを形成した後、レジストマスクの上に電子ビーム蒸着法で Ti 膜を蒸着する。Ti 膜の厚さは、例えば 40~50 nm に設定される。

次に、リフトオフ法でレジストマスクを剥離することにより、Ti 膜のうち、光導波路 102 が形成されるべき領域以外の領域の部分を除去する。こうして、光導波路 102 が形成されるべき領域を規定するよにパターニングされた Ti が形成される。Ti 膜を作製する方法は、電子ビーム蒸着法に限られず、RF マグネトロンスパッタ法などのスパッタ法を用いても良い。

次に、パターニングされた Ti が表面に存在する状態の基板 102 を管状炉に導入し、基板 102 の表面領域に Ti を拡散させる。管状炉内は、ヒータと、ヒータによって加熱される石英管とを有しており、基板 101 は石英管の中に設置された石英ボート内にセットされる。石英管内の雰囲気としては、拡散処理開始の 5 時間、水蒸気を含む湿度 80% 以上の Ar ガスが用いられる。5 時間経過後は、水蒸気を含まる湿度 80% 以上の O₂ ガスに雰囲気ガスを切り替え、1 時間程度加熱する。加熱温度は、例えば 1000℃ 程度に設定される。Ti 拡散処理工程における最後の 1 時間だけ酸素雰囲気中で加熱する理由は、基板 101 に生じた結晶の酸素欠損を補うためである。

こうして、基板 101 上に光導波路 102 が形成される。光導波路 102 の形成方法は、Ti 拡散法に限られず、V（バナジウム）、Ni（ニッケル）、Cu（銅）などの遷移金属を拡散する方法を使用してもよく、安息香酸の溶融塩中に 24 時間程度漬け込みプロトン交換を行う方法を探っても良い。

基板 101 として、DAST（4-ジメチルアミノ-N-メチル-4-スチルバゾリウムトシレート）、3RDCVXY（ジシアノビニル終端-ジメチル置換-ジアゾ）などの有機系の非線形光学材料を用いる場合、紫外光照射による屈折率変化（フォトブリーチング）法により光導波路を形成することが好ましい。

なお、光導波路 102 の幅および深さは、本実施形態では、いずれも 5 μ m 程度であるが、光導波路 102 の幅および深さは、導波させる光信号の波長によって最適化される。

次に、光導波路 102 に沿って延びる電極 103 及び 104 を形成する。具体的には、まず、光導波路 102 が形成された基板 101 の上面に電子ビーム蒸着法でアルミニウム膜を蒸着する。電極の材料は、アルミニウムに限定されず、白金、金、チタン、ゲルマニウム、ニッケル等の単体あるいは合金を使用しても良い。金属または他の導電性材料の膜を堆積した後、種々の方法で導電膜をパターニングすることにより、電極 103、104 を形成する。電極 103、104 のパターニングは、リフトオフ法によって行ってもよい。

なお、電極 103、104 を形成する前に、保護膜として機能する SiO_2 、 HfO_2 、 SiN などの薄膜を基板 101 の上面全体に形成しておくことが好ましい。

次に、電極 103 および 104 の一端に終端抵抗 105 (50 Ω) を橋渡しするように接続し、図 1 の装置が完成する。終端抵抗 105 により、進行波型光変調器の電極のように、光と電気信号の位相速度の差を緩和することが可能となる。

非線形光学材料の実効的非線形光学定数 d_{eff} は、式 8 に示すように、発生する電気信号のパワーに対して 2 乗で比例する。

$$P = \frac{A d_{eff}^2 L^2 P_1 P_2}{n_1 n_2 n_3 \lambda_3} \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 \quad \dots \text{(式 8)}$$

A : 比例定数

d_{eff} : 非線形光学定数

L : 結晶の長さ

P_1 : 入力光①のパワー

P_2 : 入力光②のパワー

n_1 : 入力光①に対する屈折率

n_2 : 入力光②に対する屈折率

n_3 : 出力に対する屈折率 (誘電率の平方)

λ_3 : 出力の波長

上記の入力光①は、導波路に入力される光信号の中心周波数の信号であり、入力光②は、サイドバンドの信号である。

以上のことから、実効的非線形光学定数 d_{eff} が大きい材料を用いて光導波路を形成することが望ましい。一般に、実効的非線形光学定数 d_{eff} は、無機非線形光学材料よりも有機非線形光学材料が高いため、有機非線形光学材料を用いる方が光信号の検

出感度が向上し、光から電気信号への変換効率が高くなる。比較的大きな実効的非線形光学定数 d_{eff} を有する無機結晶での1つである $LiNbO_3$ 結晶の実効的非線形光学定数 d_{eff} は 30 pm/V 程度である。これに対して、有機結晶の一つである DAST の結晶
5 実効的非線形光学定数 d_{eff} は 1000 pm/V であり、 $LiNbO_3$ 結晶の実効的非線形光学定数 d_{eff} の30倍以上の高い値である。このため、本実施形態の基板または光導波路の材料には、DAST を好適に用いることができる。

なお、実効的非線形光学定数 d_{eff} は光の入射方向に依存して変
10 化する。このため、ニオブ酸リチウム・タンタル酸リチウム系非線形光学結晶を用いた場合、光の入射方向は誘電主軸の xy 面内であることが望ましい。

ニオブ酸系非線形光学結晶のみならず、実効的非線形光学結晶においては、その結晶の持つ結晶系（点群・空間群）により、結晶への光の入射角度と実効的非線形光学定数 d_{eff} の変化を表す式が異なるため、その結晶の種類により実効的非線形光学定数 d_{eff} が大きくなる角度を選択する必要がある。

例えば $LiNbO_3$ 結晶では、単軸性結晶・点群 32 であるため。結晶の角度と実効的非線形光学定数を表す式9は、以下のように表現される。

$$d_{eff} = d_{11} \cos 2\theta \sin 3\phi \quad \dots \text{ (式9)}$$

ここで、 θ は光の入射方向の誘電主軸の xz 面内に投影される成分と z 軸とのなす角、 ϕ は光の入射方向の誘電主軸の xz 面内に投影される成分と x 軸とのなす角である。

本発明による光信号－電気信号変換装置では、光導波路部分に分極反転構造を導入することによって、光信号と電気信号の位相速度の差を更に緩和することが可能である。分極反転構造を導入することによって擬似速度整合を行うことができる。結晶への光の角度によって速度整合をとる場合よりも、大きな実効的非線形光学定数 d_{eff} を得ることが可能となる。分極反転構造の導入によって、感度を向上させ、かつ、光信号から電気信号への変換効率を大きくすることが可能となる。

（第2の実施形態）

次に、図2を参照しながら、分極を周期的に反転させた構造の光導波路を備えた第2の実施形態を説明する。

本実施形態の基本的な構成は、分極反転構造202を有する光導波路203を除けば、図1に示す装置の構成を略同様である。すなわち、本実施形態の光信号－電気信号変換装置は、基板201と、基板201の上面に形成された光導波路203と、基板201の上面において光導波路203を挟んで対向する位置に設けられた一対の電極204、205とを有している。光導波路203の一端に位置する入射部203aに入射した光信号が光導波路203を図中左側から右側へ伝搬するとき、非線形光学効果のうちの差周波発生効果によって電界が発生する。一対の電極204、205は、光導波路202に発生する電界が及ぶ領域内に設けられている。また、電極204、205の一端は、終端抵抗206によって相互接続されている。

この装置の各部の材料、サイズ、および製造方法も、基本的には、第 1 の実施形態に説明したとおりである。異なる点は、分極反転構造 202 の作製を行っている点にあるので、以下、この点を説明する。

5 本実施形態では、まず、電子ビーム蒸着法により、基板 201 に金属電極を蒸着する。より具体的には、基板 201 の上面には櫛型電極を形成し、裏面には前面電極を形成する。金属電極の材料としては、アルミニウム、白金、金、チタン、ゲルマニウム、ニッケル等の単体あるいは合金を使用するのが望ましい。櫛型電極は、金属
10 膜を基板 201 上に堆積した後、フォトリソグラフィおよびエッチング技術でパターニングすることによって作製しているが、基板上にパターニングされたレジストマスクを形成した後、金属膜を堆積し、リフトオフ法によって形成しても良い。

櫛形電極の形成後、基板 201 の上面側電極と裏面側電極との間に電界を形成し、光導波路 202 の特定領域における分極の向きを
15 他の領域における分極の向きに対して反転させる。

分極反転周期 $\Lambda = 2L_c$ は、以下の式 (10) または (11) で算出される。

$$L_c = \lambda_m / 2 (n_g - n_m) \quad \cdot \cdot \quad (\text{式 } 10)$$

20 $L_c = 1 / 2 f_m (1 / v_m - 1 / v_g) \quad \cdot \cdot \quad (\text{式 } 11)$

ここで、 L_c はコヒーレンス長、 n_g は光の屈折率、 n_m は電波の屈折率、 v_g は光の群速度、 v_m は電波の位相速度、 λ_m は電磁波の波長、 f_m は電波の周波数である。

本実施形態では、光信号としてHe - Neレーザ光を用い、 $f_m : 26 \text{ GHz}$ 、 $v_m : 6.4 \times 10^7 \text{ m/s}$ 、 $v_g : 1.36 \times 10^8 \text{ m/s}$ であるため、コヒーレンス長は2.4 mm、分極反転周期は4.7 mmとなる。

- 5 分極反転構造202を形成した後、基板201に対して純水、アセトン、アルコール等の液中で超音波洗浄を施す。その後の製造工程は、第1の実施形態について説明したとおりである。

上記の各実施形態では、電極を介して電気信号を検出する構成を特に限定していない。公知の高感度検出回路を用いて電気信号を増幅すればよい。しかし、上記の各実施形態における光信号－電気信号変換装置では、光信号から変換される電気信号が微弱であるため、それを簡単に増幅する機構を備えることが望ましい。

以下、光信号から変換された電気信号を共振器によって増幅する実施形態を説明する。

- 15 (第3の実施形態)

以下、本発明による光信号－電気信号変換装置の第3の実施形態を説明する。本実施形態では、光導波路部分に分極反転構造を導入するとともに、電極に誘電体共振器を介してアンテナ（電磁波放射器）を接続している。本実施形態における周期的分極反転構造は、
20 第2の実施形態における構造と同様である。

図3を参照しながら、本実施形態の装置を説明する。

本装置は、筐体309内に基板301が保持されている。

基板 301 上には、第 2 の実施形態と同様に、周期的分極反転構造を有する光導波路 302 が形成されている。基板 301 の上面において光導波路 302 を挟んで対向する位置には一対の電極 303 a、303 b が形成されている。光導波路 302 の一端に位置する入射部に入射した光信号が光導波路 302 を図中左側から右側へ伝搬するとき、非線形光学効果によって電界が発生する。一対の電極 303 a、303 b は、光導波路 302 に発生する電界が及ぶ領域内に設けられている。

光出射側 308 に位置する部分には、電磁波放射機構 306 を具備する誘電体共振器 304 が設けられており、光入射側 307 には終端抵抗 305 (50Ω) が形成されている。

次に、図 4 (a) から (c) を参照しながら、本実施形態の装置の厚さを更に詳しく説明する。図 4 (a) は、本実施形態の光信号—電気信号変換装置から共振器を取り除いた状態の主要部を示す斜視図であり、(b) は、その A—A' 線断面図であり、(c) の B—B' 部分図である。

図 4 (b) に示すように、筐体 309 内に保持された基板 301 の光導波路 302 には、分極反転構造 403 が形成されている。分極反転構造 403 は、基板材料の分極方向が反転した領域が周期的に配列されたものである。配列の周期は入力された光信号のコヒーレント長に等しく設定されている。本実施形態における光導波路 302 は、波長 633 nm の光信号を伝播するように設計されている。

筐体 309 は、基板 301 の底面および側面を覆う金属製ケースであり、基板 301 の光信号入出力部分に対応する部分には切り欠きが形成されている。外界の電磁波の影響を小さくするためには、筐体 309 は図示しないカバー部によって基板 301 の上面を覆う形状を有することが好ましい。

電極 303 (303a、303b) は、図 4 (c) に示すように、光導波路 302 に沿って形成され、光導波路 302 に発生する微小な電界を検出できる。本実施形態における電極 303a、303b の一部は、基板 301 の上面から内部に埋め込まれているが、このような構造を有しない電極であってもよい。例えば、基板 301 の上面に堆積した金属膜をパターンニングすることによって得られる電極を用いても良い。

次に、図 5 (a) および (b) を参照しながら、誘電体共振器部分および電磁界放射機構を説明する。図 5 (a) は、誘電体共振器の概略構成を示しており、図 5 (b) は、図 5 (a) の A-A' 線断面図である。

誘電体共振器 304 は、共振器内部の電磁界を外部から遮蔽する金属製筐体 501 と、筐体 501 の内部に配置された高誘電率誘電体 503 とを備えている。高誘電率誘電体 503 と筐体 501 との間には、相対的に誘電率の低い材料 (例えば商品名テフロン (登録商標)) が挿入されており、この低誘電率材料によって高誘電率誘電体 503 が取り囲まれ、保持されている。

本実施形態の高誘電率誘電体503は、2つの部分に分かれており、その間隙には共振器内部における電界を増大させるためのスリット505が形成されている。また、筐体501には、高誘電率誘電体503のスリット505に対向する位置に電磁波放射のためのスリット504が設けられている。

誘電体共振器304の高誘電率誘電体503は、図6に示すように、マイクロストリップ線路502a、502bに電磁的に結合している。図6は、図3に示す本実施形態の装置を他の角度から見た斜視図である。図6からわかるように、マイクロストリップ線路502a、502bの一端は、それぞれ、アルミナ基板602a、602b上に形成されており、ボンディングワイヤ605a、605bを介して電極303a、303bの支線に接続されている。

光信号が光導波路を伝播したときに電極303a、303bに有機された電気信号は、図6のボンディングワイヤ605a、605bを介してマイクロストリップ線路502a、503aに伝達され、誘電体共振器304の内部に導かれる。この電気信号は、誘電体共振器304の内部で共振するように誘電体共振器304の各種パラメータが設計されている。

誘電体共振器304の内部で共振によって電気信号のエネルギーを効率的に蓄えるためには、スリット505を選択的に開閉するスイッチを誘電体共振器304に設けることが好ましい。このスイッチを閉じているとき、電磁界の外部漏洩が抑制され、共振器のQ値が高くなるため、電気信号のエネルギーが増幅される。スイッチを開放

することにより、共振器内で増幅されたエネルギーを持つ電気信号が電磁波として共振器の外部に放射されことになる。

開放状態のスリット505では共振器の内部に比較して誘電率が急激に小さくなるため、高誘電率誘電体503を伝播してきた電気信号の電磁界はスリット505の部分で急激に増大することになる。このようにして電界が増大する部分の近傍に筐体501のスリット504が配置されているため、マイクロストリップ線路502a、502bを伝播してきた電気信号は電磁波に変換され、スリット504から共振器の外部を放射されることになる。

本実施形態における誘電体共振器304は、 $TM_{11}\delta$ モードで共振するように設計されている。例えば26GHzの電気信号を電磁波として放射する場合、スリット504の長さは約3mm、幅は0.6mmに設定される。

真空の誘電率を ϵ_0 、誘電体共振器304の内部の比誘電率 ϵ_r を24、スリット504における比誘電率 ϵ_r を1とすると、電束密度Dは $\epsilon_r \epsilon_0 E$ に等しく、誘電体共振器304の内部でもスリット504の部分でも一定である。このため、電界Eは、比誘電率の高い共振器内部からスリット504を介して共振器外部にできるとき、24倍の大きさに強められることになる。また、誘電体共振器304の内部には、電界エネルギーが蓄えられるため、発生する電界エネルギーそのものを共振器によって大きくすることが可能となる。本実施形態では、誘電体共振器304のQ値を2000程度に設定することが可能である。

基板301をDAST結晶から形成する場合、光信号が光導波路

を伝播するときに電極間に発生する電界は $80\mu\text{V}/\text{m}$ 程度であるが、本実施形態の共振器を用いることにより、2000倍を超える大きさに高めることができる。

高誘電率誘電体503は、例えば $\text{MgYiO}_3-\text{CaTiO}_3$ 系セラミックスから形成される。断面は1mm角、長手方向の長さは5mmである。

本実施形態における筐体501は、例えば、断面が3mm角で長手方向サイズが15mmの矩形形状を有している。筐体501と高誘電率誘電体503との間はPTFEで充填された構造となっている。

高誘電率誘電体503は、 $\text{Zr}-\text{TiO}_4\cdot\text{BaTiO}_3$ に代表される誘電体セラミックス材料を使用してもよい。誘電体材料によって誘電率が異なるため、筐体501の寸法および誘電体共振器304の寸法を変更する必要がある。

本実施形態における共振器は、 $\text{TM}_{11}\delta$ モードで共振するように設計されているが、 TE_{10} モードなどの他のモードで共振するように設計しても良い。また、本実施形態では、電磁波放射機構として機能するスリット504を共振器304の筐体501に設けているが、導体電極を共振器筐体に接地させない状態で設けることにより、電波の放射量を大きくすることが可能である。共振器304の筐体501に設けたスリット504は、スロットアンテナとして動作するが、スリット504に更に他の誘電体共振器を設置し、スリット504を誘電体アンテナとして動作させてもよい。

以上説明してきたように、上記の各実施形態の光信号－電気信号変換装置によれば、光導波路に光信号を入力し、伝播させることにより、光信号を電気信号に変換することができる。そして、その電気信号を共振器によって増幅するため、超高速変調光を正確に検出

5 することが可能となる。

また、光導波路、電極、共振器、およびアンテナを基材上に一体的に設けることにより、装置を小型化できるため、各種通信機器や電気機器間での情報の授受を行う際に、それらの通信機器に組み込むことが容易である。

10 このように、本発明の実施形態によれば、光ファイバーなどの光信号伝送手段を通して送られてきた光信号を無線信号に変換させることが容易である、通信機器や電気機器を無線によって相互に制御すること簡単に行える。また、既存の電化製品を無線で制御するネット家電の普及をより促進することが可能となる。

15 上記の実施形態によれば、光導波路を用いて光信号を検出するため、擬似速度整合により、感度および変換効率を高めることが可能となる。特に、周期的分極反転構造を用いる場合、分極反転周期および光導波路、誘電体共振器を適切に設計することにより、任意の波長及び周波数の光信号の検出に適用することが可能である。

20 なお、本発明で用いる種々の材料や素子の構成は、上述の実施形態に限定されないことは言うまでもない。上記誘電体材料、非線形光学材料以外の材料を用いて本発明の光信号－電気信号変換装置を実現することができる。

産業上の利用可能性

本発明によれば、電荷（キャリア）のドリフトを利用せずに光信号を電気信号に変換することができるため、高速な応答が達成できる。また、光信号から変換された電気信号を共振器で増幅し、アンテナから電磁波として放射することにより、光信号から無線信号への項高率な変換が実現する。本発明によれば、小型で高速動作の可能な光信号－電波信号変換装置を提供することができる。

5

請 求 の 範 囲

1. 変調された光信号を受け取り、伝搬する光導波路と、

前記光信号が前記光導波路を伝搬するときに、非線形光学効果に
5 よって前記光導波路に発生する電界が及ぶ領域において前記光導波
路を挟んで対向する位置に設けられた一对の電極と、
を備えた光信号－電気信号変換装置。

2. 前記一对の電極に結合された共振器であって、前記電界に

10 よって前記一对の電極に誘起された電気信号を受け取って励起され
る共振器を更に備えている請求項 1 に記載の光信号－電気信号変換
装置。

3. 前記光信号は、変調周波数 f_m に応じたサイドバンド信号

15 を含んでいる請求項 1 または 2 に記載の光信号－電気信号変換装置。

4. 前記光導波路は、誘電体基板上、または前記誘電体基板中
に形成されており、前記電極は前記誘電体基板に支持されている請
求項 1 に記載の光信号－電気信号変換装置。

20 5. 前記光導波路および前記誘電体基板の少なくとも一部は、
非線形光学材料から形成されており、前記光信号が前記光導波路を

伝搬するとき、光整流効果によって前記電界を発生させる請求項4に記載の光信号－電気信号変換装置。

6. 前記共振器に連結された電磁波放射器を更に備えており、
5 前記電気信号を無線信号として放射する、請求項5に記載の光信号－電気信号変換装置。

7. 前記共振器および前記電磁波放射器が前記基板と一体化されている請求項4に記載と光信号－電気信号変換装置。

10 8. 前記共振器と前記電極とは、前記誘電体基板に形成されたマイクロストリップ線路によって接続されている、請求項7に記載の記載と光信号－電気信号変換装置。

15 9. 前記光信号は、変調周波数は10GHz以上である請求項1に記載の光信号－電気信号変換装置。

10. 前記光導波路に結合した光入射部を更に備えている請求項1に記載の光信号－電気信号変換装置。

20 11. 前記非線形光学材料は、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) 系材料、リン酸チタニルカリウム (KTiOPO_4) 系材料、希土類カルシウムオキシボレ

ート ($RECa_4O(BO_3)_3$ RE: 希土類元素) 系材料、DAST (4-ジメチルアミノ-N-メチル-4-スチルバゾリウム-トシレート)、および、3RDCVXY (ジシアノビニル終端-ジメチル置換-ジアゾ) からなる群から選択された材料である請求項

5 5に記載の光信号-電気信号変換装置。

12. 前記光導波路は、分極方向が他の部分の分極方向と異なる周期的分極反転構造を有している請求項1に記載の光信号-電気信号変換装置。

13. 前記一对の電極を電氣的に接続する抵抗を更に備えている請求項1に記載の光信号-電気信号変換装置。

14. 前記誘電体基板を収納する筐体を更に備えている請求項

4に記載の光信号-電気信号変換装置。

図 1

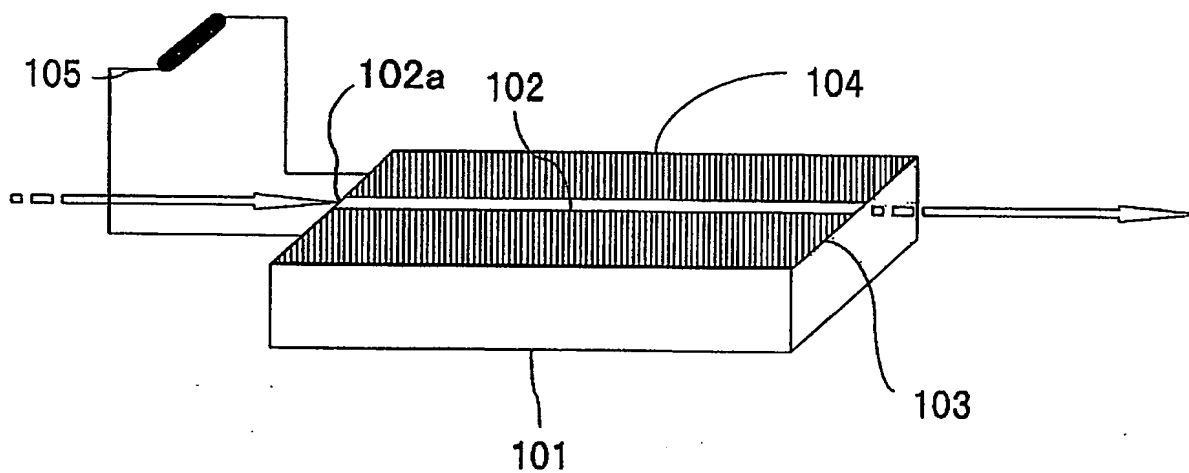


図 2

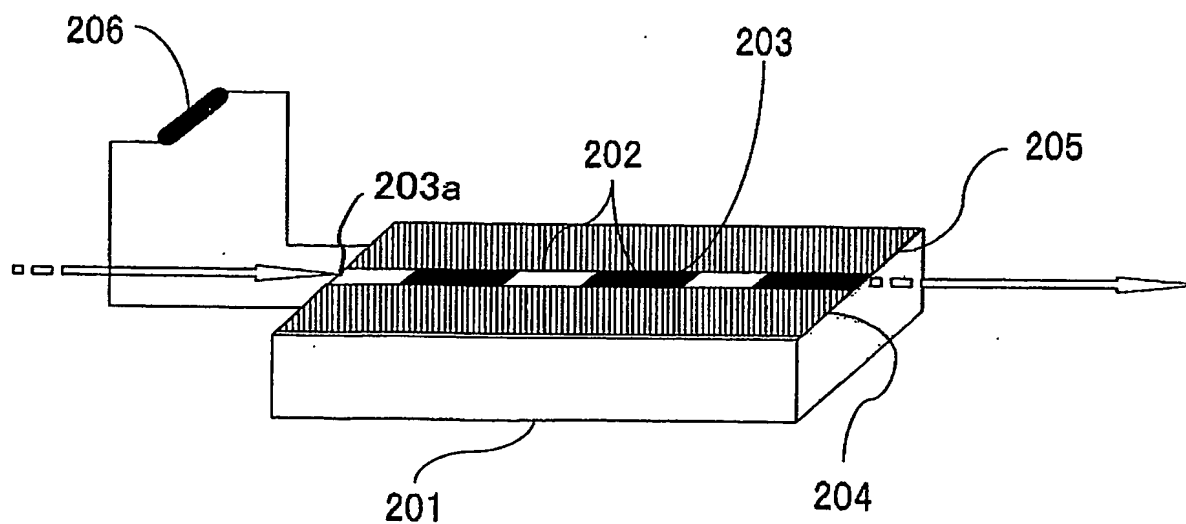


図3

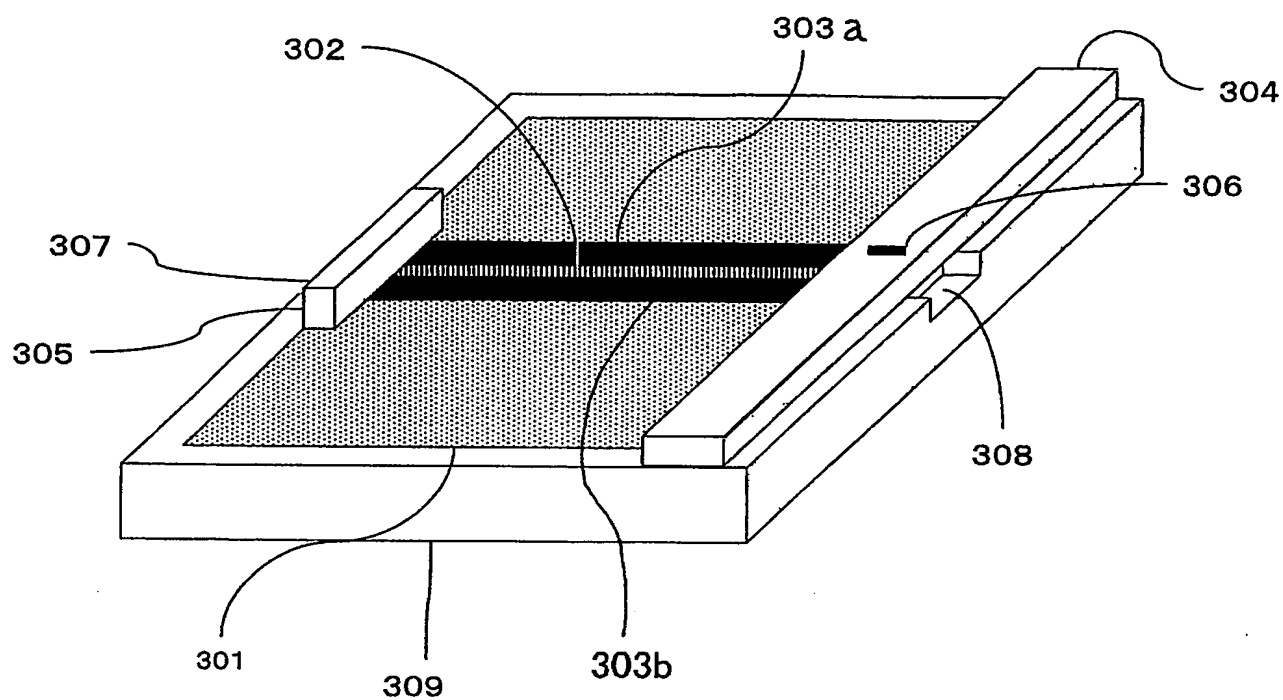


図4

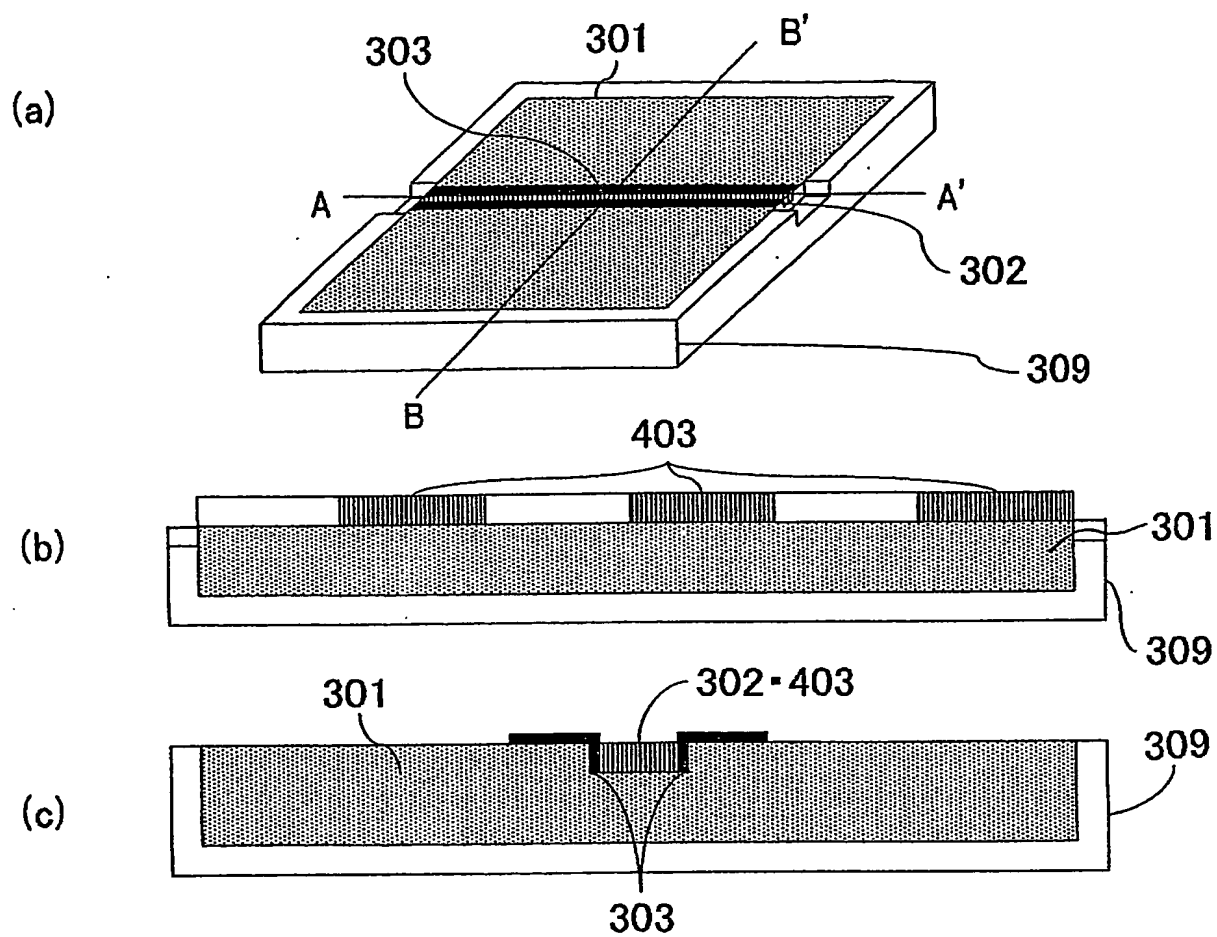


図5

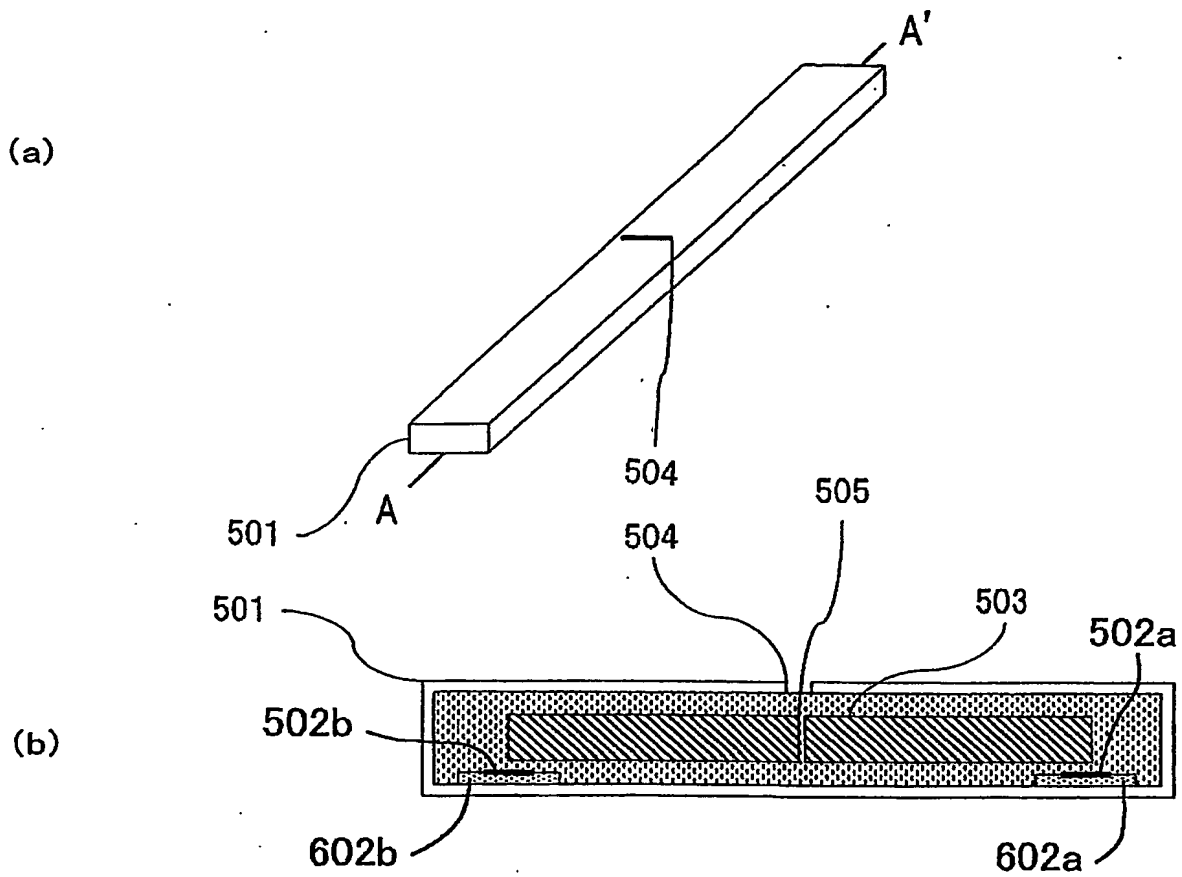
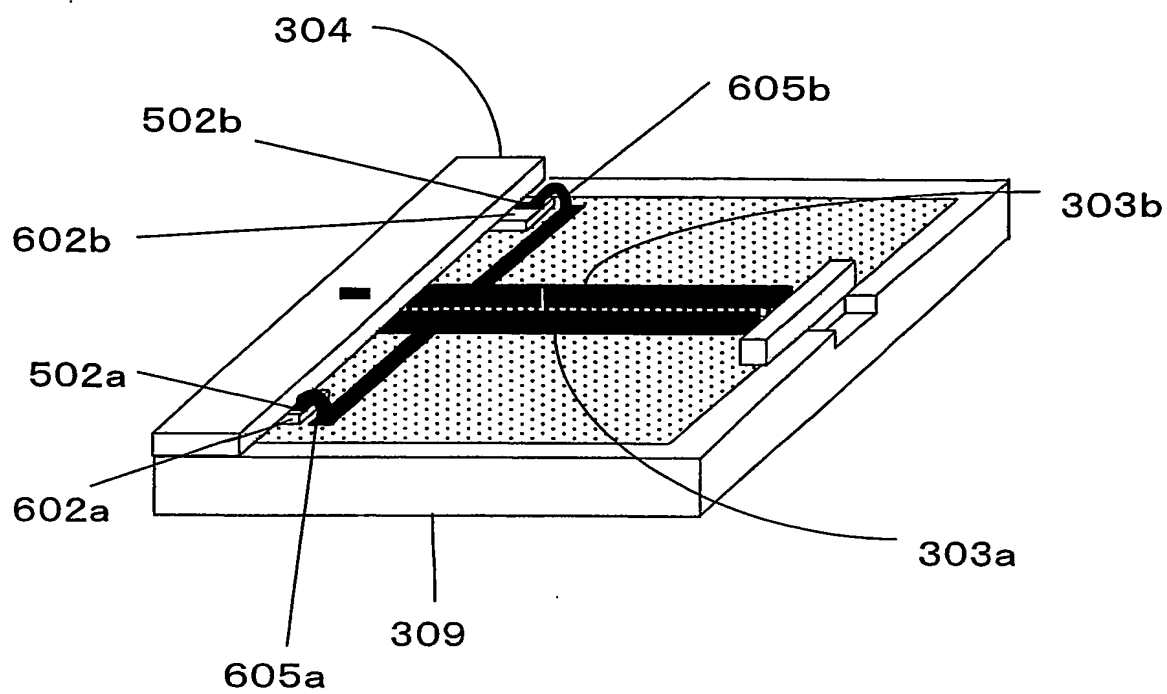


図6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07831

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02F2/02, G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02F2/00, G02F1/35, H04B10/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST, USPTO Web Patent Database

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-24117 A (Hitachi Cable, Ltd.), 29 January, 1999 (29.01.99), (Family: none)	1-14
Y	JP 11-183949 A (Hitachi Cable, Ltd.), 09 July, 1999 (09.07.99), (Family: none)	1-14
P, Y	JP 2003-15175 A (Mitsubishi Electric Corp.), 15 January, 2003 (15.01.03), (Family: none)	1-14
A	US 6144679 A1 (SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORP.), 07 November, 2000 (07.11.00), & WO 00/42468 A1 & EP 1151348 A & AU 2309100 A	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 28 July, 2003 (28.07.03)	Date of mailing of the international search report 12 August, 2003 (12.08.03)
---	--

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/07831

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4922091 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.), 01 May, 1990 (01.05.90), & US 4972069 A1 & EP 354311 A & JP 02-104123 A	1-14
Y	JP 09-321700 A (Director General of Communications Research Laboratory), 12 December, 1997 (12.12.97), (Family: none)	1-14
Y	AVETISYAN, Y. et al., Analysis of THz-wave surface-emitted difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate waveguide, Appl.Phys.B 73, 2001, pages 511 to 514	1-14
Y	Lee, Y.-S. et al., Generation of narrow-band terahertz radiation via optical rectification of femtosecond pulses in periodically poled lithium niobate, Appl.Phys.Lett., Vol.76, No.18, May 2000, pages 2505 to 2507	1-14
P,Y	SUHARA, T. et al., Theoretical Analysis of Laterally Emitting Terahertz-Wave Generation by Difference-Frequency Generation in Channel Waveguides, IEEE J. Quantum Electron, Vol.39, No.1, January 2003, pages 166 to 171	1-14

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F2/02, G02F1/35

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F2/00, G02F1/35, H04B10/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST
 USPTO Web Patent Database

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-24117 A(日立電線株式会社)1999.01.29 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 11-183949 A(日立電線株式会社)1999.07.09 (ファミリーなし)	1-14
PY	JP 2003-15175 A(三菱電機株式会社)2003.01.15 (ファミリーなし)	1-14
A	US 6144679 A1(SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORP.)2000.11.07 & WO 00/42468 A1 & EP 1151348 A & AU 3209100 A	1-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28.07.03

国際調査報告の発送日

12.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
 佐藤 宙子

2X 9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 4922091 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 1990. 05. 01 & US 4972069 A1 & EP 354311 A & JP 02-104123 A	1-14
Y	JP 09-321700 A (郵政省通信総合研究所長) 1997. 12. 12 (ファミリーなし)	1-14
Y	AVETISYAN, Y. et al. Analysis of THz-wave surface-emitted difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate waveguide, Appl. Phys. B 73, 2001, p. 511-514	1-14
Y	Lee, Y.-S. et al. Generation of narrow-band terahertz radiation via optical rectification of femtosecond pulses in periodically poled lithium niobate, Appl. Phys. Lett., Vol. 76, No. 18, May 2000, p. 2505-2507	1-14
PY	Suhara, T. et al. Theoretical Analysis of Laterally Emitting Terahertz-Wave Generation by Difference-Frequency Generation in Channel Waveguides, IEEE J. Quantum Electron., Vol. 39, No. 1, January 2003, p. 166-171	1-14